

# 전동차 환경 전과정 평가(LCA)를 위한 소프트웨어 기본설계

## Basic Design of Software for Environmental Life-Cycle Assessment of Electric Motor Unit(EMU)

김용기\* · 이재영\*\* · 문경호\*\* · 목재균\*\*\* · 은종환\*\*\*\*

Kim, Yong-Ki Lee, Jae-Young Moon, Kyeong-Ho, Mok, Jai-Kyun, Eun, Jong-Hwan

---

### Abstract

As a global effort to conserve the environment, life cycle assessment(LCA) which considers the environmental impact through the life cycle of a product, from acquiring of resources to scrapping, has been actively applied. The LCA is a tool to calculate quantitatively the environmental impacts caused by products or services through their life cycles. The list of numerous data should be analyzed, stored and conducted in order to assess the environmental impacts. Therefore, it is necessary to develop a software for LCA, which can perform the interpretation as well as the environment impact assessment to execute the analysis of such a large number of data effectively. At this time, for the existing some kinds of general LCA softwares, the information about all of input and output should be fed directly and the conclusion is deduced by linking to the database from the public authorized organizations. That makes it possible to evaluate the environmental grades accurately, but it is too slow and difficult for general users to operate and applied it into an electric motor unit(EMU). Therefore, in this research, the basic model was designed, which is based on construction of database structure of the software and organization of architecture, to develop an advanced software for EMU according to user and purpose of it by benchmarking of domestic and international softwares. The result of this study would be applied to develop the LCA software in the future.

---

### 1. 서론

환경과 개발에 관한 유엔회의(UNCED : United Nations Conference on Environment & Development)이후 환경문제의 개념이 환경과 조화된 지속가능한 개발(ESSD : Environmentally Sound Sustainable Development)의 개념으로 확대되면서 지역의 환경오염문제뿐만 아니라 세대 간의 형평성을 고려한 지원과 에너지의 관리 및 범지구적인 환경문제 해결에 노력하지 않으면 안 되는 시대를 맞고 있다. 최근의 환경오염문제는 어느 특정의 오염인자 및 오염행위 의해 발생하는 것이 아니라 각종 산업활동 및 소비생활 과정속에서 발생하고 상호 영향을 미치고 있다. 환경의 관심 및 환경문제의 해결방법에 대한 관점이 사후처리에서 사전오염예방으로 옮겨지고 있다.

우리나라의 경우 친환경 수송수단과 정책에 필요한 정량적 정보가 부족하고 국가적으로 공인된 원단위 DB(LCI D/B) 및 정량적 평가방법의 미비로 실제적인 친환경 교통수단의 평가와 육성에 상당한 제약이 따르고 있다. 현재 전동차의 전과정 평가과정에서의 환경영향정도를 평가·분석하여 환경친화적인 평가지표 및 도구의 개발과 동시에, 환경영향을 최소화하고 기업의 환경비용 절감을 도모할 수 있는 제도적인 유도 장치와 체계적인 기술개발이 요구된다. 국내 철도산업의 경우 국가 차원의 기초물질에 대한 산업별 데이터베이스가 부족하고, 인프라가 체계적으로 구성되어 있지 않기 때문에 전과정 평가를 적용하는데 많은 제약이 따르고 있다.

전동차는 제작시 많은 원료와 재료를 사용하여 부품을 제조하고, 또 제조된 부품을 통해 단품을 제작 조립하여 전동차를 완성하게 된다. 따라서 전동차 부품의 원료채취부터 제작, 폐기과정에서 발생하는 환경부하

---

\* 한국철기기술연구원, 책임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원

\*\*\* (주) 에코시안 책임연구원, 비회원

를 파악하고 부하량 절감을 통해 제품이나 서비스 환경부하를 정량적인 평가방법을 통한 환경친화적인 근거 자료와 이를 기반으로 전동차의 환경성 개선방안이 시급히 마련되어야 한다. 환경 전과정 평가는 제품의 전과정에 걸쳐 제품 및 서비스에서 야기된 환경부하량을 계산하고 환경에 미치는 영향을 평가하는 도구이다. 환경부하를 평가하기 위해서는 많은 데이터의 목록을 분석 저장하고 처리하여야 한다. 이에 따라 많은 데이터의 목록분석을 용이하게 수행하기 위해 영향평가 및 해석 단계까지 수행할 수 있는 환경 전과정 평가용 소프트웨어 개발이 필요하다.

현재 국내에 존재하는 범용 전과정 평가 소프트웨어는 제품의 투입물 및 산출물 정보를 직접 입력하고 물질을 국가 또는 공인된 기관의 DB를 연결하여 최종산물을 도출한다. 이것은 처리속도가 느리고 사용자가 운용하기 어려운 단점이 있을 뿐만 아니라 전동차의 환경부하량과 환경영향을 평가하는데 어려움이 있다.

전과정영향 평가는 분류화, 특성화, 가중치, 정규화 단계가 포함된다. 전과정 영향평가의 주요이슈로는 무생물 자원 고갈(abiotic resource depletion, ARD), 산성화(acidification, AD), 수계생태독성(freshwater aquatic ecotoxicity, FAET), 해양생태독성(marinewater aquatic ecotoxicity, NAET), 토양생태독성(terrestrial ecotoxicity, TET), 부영양화(eutrophication, Eut), 지구온난화(global warming, GW), 인간독성(human toxicity, HT), 오존층 파괴(ozone depletion, OD), 광화학 산화물 생성(photochemical ozone creation, POC)을 들 수 있다. 단계 및 영향범주별로 가장 큰 기여도를 보이는 공정과 공정에서 가장 큰 기여를 하는 물질도 규명할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내외 전과정평가 소프트웨어의 벤치마킹을 통해 활용대상 및 목적에 따라 기존의 S/W보다 향상된 전동차 전용의 소프트웨어 개발을 위해 S/W의 DB구조와 아키텍처 구성을 기반으로 기본모형 설계를 수행하였고, 향후 본 연구결과를 통해 환경 전과정 평가 S/W를 개발하는데 활용하고자 한다.

## 2. 벤치마킹

LCI DB는 각각의 소프트웨어에 내장되어 있는 경우와 외부에서 가져오는 경우로 구분할 수 있는데, 대부분의 소프트웨어에서 database창으로부터 내장 DB를 불러오는 형식이며, 외부 DB를 가져오는 경우 특정 형태로 전환하여야만 사용가능하다. 또한, 목록물질에 포함되지 않은 물질을 추가하는 방법은 각각의 소프트웨어마다 방법은 다소 다르지만, 데이터베이스 양식에 맞게 작성, 편집하여 삽입할 수 있도록 구성되어 있다. 모듈과 모듈 혹은 유닛과 유닛 연결 시 동일한 투입물/배출물이 있으면 바로 연결이 가능하지만, 동일한 이름이 없을 때는 PASS의 경우 강제 연결 창이 나타나서 연결할 수 있고, TOTAL은 연결자체가 불가능하며, SimaPRO는 유사 모듈을 연결하거나, LCAiT에서는 연결선이 나타나 연결이 가능하다.

LCI 결과 산출 측면에서는, PASS의 경우 지속적으로 오류를 수정하여 개선된 버전을 출시하고 있지만, 아직까지 LCI DB상의 동일한 물질에 대한 단위가 동일하지 않을 때 연산의 오류가 발생하며, DB상의 단위에 상관없이 수치가 그대로 연산되는 문제점이 있다. 또한, LCIA 결과 산출 측면에서도 목록분석 후 영향평가 연산 시간이 다소 길고, 영향평가 수행 후 결과를 다시 보기 위하여 반복적인 연산을 수행해야 하므로, 본 연구에서 기본설계한 S/W는 벤치마킹을 통해 엑셀 프로그램과의 연동이 가능하도록 설계하였다.

## 3. 전동차 LCA S/W 기본설계

### 3.1 기본설계방향

전동차의 전과정 평가를 위한 S/W에서 구현하는 기능단위에 초점을 맞추어 기본 설계를 하였다. 전동차의 경우 구성부품이 매우 다양하고, 수도 많기 때문에 모든 부품에 대한 LCA 환경성을 평가하여 이를 소프트웨어에 반영하기에는 어려움이 있다. LCA 수행을 S/W상에서 구현하는 과정은 LCA 수행에 사용할 DB를 생성 또는 구축, 수집한 물질 데이터와 DB를 연결하여 연산 수행,

사용자가 이해하기 쉽게 결과 값을 화면상으로 표현하는 단계로 진행되도록 기본 설계방향을 설정하였다.

- 철도차량 부품 데이터베이스 : 기존에 구축되어 있는 철도차량의 부품 LCI 및 LCA DB
- 물질데이터베이스 : 물질별 LCI 및 LCA DB
- 연료 및 전력 LCA/LCI 데이터베이스 : 특정연료 및 전력의 운송거리에 따른 LCI 및 LCA 결과를 도출해 주는 DB

### 3.2 S/W의 설계

- 철도차량 부품 LCI DB, 물질 LCI DB, 연료 LCI DB를 기본으로 하여 변경되는 입력 조건에 따라 간략한 LCA 결과를 도출하는 S-LCA S/W의 개발
- 산출되는 평가 결과의 종류 : 목록분석 결과, 특성화 결과, 가중화 결과, 선택한 물질 발생량
  - ① 가중화 결과 : 선택한 전체 영향범주를 합산한 환경부하
  - ② 특성화 영향범주별 결과 : 지구온난화, 산성화, 자원고갈 등
  - ③ 지구온난화 영향 물질 : CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 등의 발생량
- 영향범주의 종류는 사용자가 임의로 선택 가능
- 영향평가의 종류(특성화 또는 가중화) 선택 가능
- 특정물질을 선택하여 발생량의 파악 가능

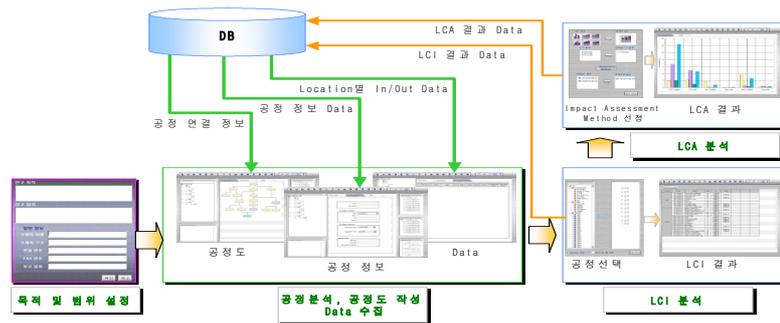


그림 1. 전동차 전과정평가 소프트웨어의 설계 모형

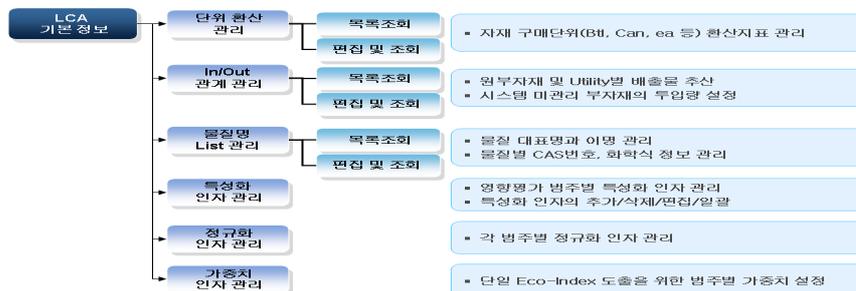


그림 2. LCA 기본정보 입력기능 기능차트



그림 3. LCA 결과조회 기능차트

### 3.3 S/W의 기본적 기능

S/W의 기본적 기능은 다음과 같이 기본설계를 하였다.

#### (1) 환경영향평가

환경영향평가는 사용자가 입력할 사항인 부품, 물질, 운송거리에 대한 정보를 입력한 후 입력조건에 따라 영향평가의 결과를 입력사항 중 부품정보와 물질정보는 선택하여 입력하고, 운송거리는 직접 입력하는 방식을 고려하였다.

#### (2) 평가결과의 비교

환경영향평가를 비교하는 기능은 동일한 조건하의 특성화, 가중화, 물질별 발생량에 대한 비교기능으로, 엑셀 형식의 도표, 그림으로 저장이 가능한 차트표현 및 직접 편집이 가능하다.

#### (3) 내장 DB의 편집

S/W에 내장된 DB의 이력, 버전을 관리하는 기능이다. 이 기능은 사용자가 DB를 추가/삭제/편집할 수 있는 기능을 수행한다.

#### (4) 데이터베이스 입/출력 기능

개별적인 DB뿐만 아니라 파일단위의 전체 DB를 입력 및 출력할 수 있는 기능이다.

#### (5) 데이터베이스 검색 기능

DB의 검색 기능은 필요한 데이터베이스를 신속하게 선택할 수 있는 기능을 수행한다.

### 3.4 개발 소프트웨어 주요 특징

전동차 S/W는 다음과 같은 기능을 부가하여 전과정 평가에 대한 전문지식이 없는 사용자도 활용할 수 있도록 기본적으로 구성하였다.

#### (1) 전과정 단계별 평가 결과 도출

현재 범용적으로 사용되고 있는 전과정평가 소프트웨어의 경우 사용자가 제조단계, 사용단계, 폐기단계를 임의로 구분하여 결과를 산출할 수 있도록 되어 있으나, S/W기본설계에서는 초기 값 입력시부터 제조단계, 사용단계, 폐기단계로 구분된 결과를 산출할 수 있도록 하였으며, 각각의 구분된 결과뿐 아니라 전체 통합 결과를 도출할 수 있도록 하였다.

#### (2) 전동차량의 구조를 이미지로 표현

부품 또는 차체를 이미지로 표시한 사용자 인터페이스를 채택하여 평가하고자 하는 부품의 신속한 선택으로 사용 편의성을 높혀, 전과정평가 소프트웨어를 처음 접한 사용자의 이해를 돕고자 하였다.

#### (3) 내장 데이터베이스

공용부품, 물질, 에너지 및 운송으로 구분된 DB를 내장하고, 공용부품 데이터베이스는 전동차량에 공통으로 사용되는 부품에 대한 LCI/LCA 결과로 구성되게 하였다.

#### (4) 비교, 주요이슈 도출 및 보고서 작성 기능

평가결과의 비교, 주요이슈(key issue) 도출 및 전체 평가결과 보고서 작성 기능으로 사용

자 편의성을 증대시키고자 하였다.

(5) 데이터 출력 및 불러오기 기능

기존 외부 데이터 파일에서 일부 및 전체 내용을 가져와 현재 편집 중인 프로젝트에 추가하는 기능으로 신속한 편집 및 평가결과의 도출이 가능토록 한다. 또한 기존 데이터베이스 또는 데이터 파일의 내용을 일정한 형식을 가진 파일 형태로 출력하는 기능을 부가한다.

- 국가 LCI DB의 파일형태 지원
- 기존 LCA S/W와의 호환성 부여
- ISO 14048 데이터 형식 지원

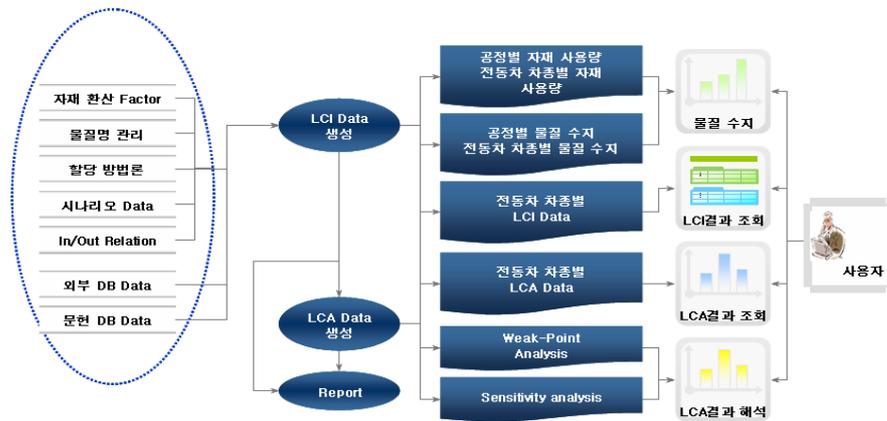


그림 4. 전동차 환경성 전과정 평가 S/W 개발 아키텍처

### 3.5 전과정평가 S/W 구현방안

전과정 평가 S/W 기본설계를 통해 기업내의 생산시스템과 연계하여 구현할 수 있는 방안도 모색하였다.

첫째, 전동차 LCA S/W가 기업 내부 시스템의 한 모듈로써 개발될 경우, 우선 기업의 자재구성정보(Bill of Material: BOM) 및 회계시스템과 연계될 수 있으며, 생산 데이터 및 환경 관련 데이터와 동시에 연동이 가능하므로 추가적인 생산 데이터 및 비용 데이터 입력 없이 자동적으로 전과정 평가 및 환경 관련 비용이 산출될 수 있다. 물론 전과정 평가 결과를 자동으로 산출되기 위해서는 체계적인 생산 데이터의 DB구축이 선행되어야 할 것이다. 현재 국내 삼성, LG필립스 LCD 등 대기업에서는 자사의 생산실적 데이터를 자동으로 연계하여 전과정 평가 결과를 산출하고 제품의 환경성을 평가할 수 있는 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 그러나 본 구현 방식을 전동차 LCA S/W에 도입될 경우에 기업 내부의 생산 데이터와 연동되기 때문에 소프트웨어의 사용자가 전동차를 생산하는 업체에 한정될 수 있다.

둘째, 전동차 LCA S/W를 적용서비스 방식으로 제공되어 다수의 전동차 제작, 운영과 관련된 기관 및 기업이 활용할 경우, 각 기관에서 수행한 LCI 결과는 전동차 전체에 대한 LCI DB 구축이 용이하다는 이점이 있다. 그러나 이 경우 본 서비스를 이용하는 기관에서 LCA에 대한 일정 수준의 전문 지식을 보유하고 있을 경우로 제한된다. LCA에 대한 전문지식 없이 자동으로 LCA 결과를 산출할 수 있도록 제공되는 어플리케이션을 설계할 수도 있으나, 이 경우 기업 내부 시스템 구축 방식과 마찬가지로 기업 내부의 생산 실적 데이터 등과 연계할 수 있다.

셋째, 전동차 LCA S/W가 독립형 S/W로 개발될 경우, 기본적인 LCA 수행 데이터가 입력이 되어 있는 상태로 LCI DB를 포함하고 있어야 한다. 독립형 S/W의 특성상 다수의 사람이 활용하기 보다는 프로젝트 단위로 시행되는 경우에 적합할 것으로 판단된다. 기업뿐만 아니라 연구소,

정부기관 등에서 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

국내에서 전동차와 관련된 LCA는 아직까지 생소한 개념이다. 따라서 전동차의 LCA에 대한 이해를 보다 확산시키는 것이 우선시되어야 하며, 초기부터 상당 비용을 투자하여 시스템을 구축하는 것 보다는 전동차와 관련된 관계자들에게 전과정 평가에 대한 이해를 보다 쉽게 넓힐 수 있는 S/W가 필요하다. 따라서 본 연구개발에서는 LCA에 대한 전문 지식이 없는 관계자도 그 수행 결과를 보다 쉽게 이해할 수 있는 독립형 소프트웨어 구현방식을 적용하여 전동차용 LCA를 수행할 수 있도록 기본설계를 하였다.

## 5. 맺음말

우리나라의 경우 친환경 수송수단과 정책에 필요한 정량적 정보가 부족하고 국가적으로 공인된 원단위 DB(LCI DB) 및 정량적 평가방법의 미비로 실제적인 친환경 교통수단의 평가와 육성에 상당한 제약이 따르고 있다. 또한 제품에 대한 환경 전과정을 통해 발생하는 환경측면이 OECD를 중심으로 중요한 문제로 고려되면서 이를 평가할 수 있는 평가시스템의 개발과 더불어 제품 생산 공정에 투입되는 에너지 및 재료의 친환경성을 평가할 수 있는 DB구축의 필요성이 급속히 증가하고 있다.

지속가능철도산업발전을 위한 전동차의 환경성 전과정 평가를 위해서는 평가기법의 개발과 DB의 확장, 신뢰도 향상에 대한 지속적인 연구가 필수적이다. 이를 기반으로 전동차에 대한 친환경 평가의 명확한 지표를 설정하고 이를 실현할 수 있는 평가시스템 개발이 요구된다. 평가시스템은 향후 국가차원에서 기후변화협약 비준에 따른 전동차의 환경부하 저감 효과를 정량적으로 도출할 수 있는 평가프로그램으로 활용이 가능하도록 LCI 및 LCIA DB의 기반구축과 더불어 기본설계가 이루어져야 한다. 본 연구에서 국제적으로 환경규제의 강화로 인한 지구온실가스의 감축목표 달성을 위한 이산화탄소가스 등의 절감, 자원절약, 에너지 효율화 정책, 생태계 영향, 폐기물 저감대책 등의 시행효과 평가와 환경개선을 위한 정책대안 결정과 국제환경 규제에 대한 대응기술로 적용할 수 있도록 전동차 환경성 전과정 평가시스템 구축을 위해 S/W기본설계를 하였다. 이를 토대로 향후에는 상세설계를 통한 프로토타입 개발완료 후 구축하고 있는 DB를 기반으로 활용과 시연 및 검증할 예정이다.

## 후기

본 연구는 건설교통부에서 주관하는 국가교통핵심기술개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김용기, 윤희택. 이재영(2005.5). "LCA 연구동향과 활용방안 사례", 2005한국철도학회 춘계 학술대회논문집.
2. 최주섭, 환경정책과 LCA, 한국전과정평가학회지, Vol. 2, No. 2, 2000
3. 김용기, 이재영(2005), "전동차 전과정평가 시스템 개발", 한국철도기술연구원.
4. Naoki AIHARA, Taro Tsujimura(2002). "Basic Study on Environmental Aspect of Tokaido Shinkansen Line by LCA Methods", RTRI Report, Vol. 16. No. 10.
5. 정인태, 양윤희. 이진모, 김용기(2005.5). "철도산업과 전과정평가", 2005한국철도학회 춘계학술대회 논문집.
6. 양윤희, 이진모, 정인태, 김용기(2005.5). "전과정평가와 간략전과정평가의 비교분석 및 철도산업에의 활용방안", 2005한국철도학회 춘계학술대회 논문집.